

57/1472

31

1
4
6

Int. Cl.:

G 06 f, 11/12

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

DEUTSCHES



PATENTAMT

Deutsche Kl.:

42 m3, 11/12

Offenlegungsschrift 2048 365

Aktenzeichen: P 20 48 365.2

Anmeldetag: 1. Oktober 1970

Offenlegungstag: 6. Mai 1971

Ausstellungspriorität: —

Unionspriorität

Datum: 29. Oktober 1969

Land: V. St. v. Amerika

Aktenzeichen: 872230

Bezeichnung: Verfahren und Vorrichtung zur Erzeugung von Prüfkodesegmenten auf das Auftreten von Quelldaten hin und zur Ermittlung von Fehlern in den Quelldaten

Zusatz zu: —

Ausscheidung aus: —

Anmelder: Honeywell Inc., Minneapolis, Minn. (V. St. A.)

Vertreter: Bardhle, H., Dipl.-Ing., Patentanwalt, 8000 München

Als Erfinder benannt: Eachus, Joseph J., Cambridge, Mass. (V. St. A.)

Benachrichtigung gemäß Art. 7 § 1 Abs. 2 Nr. 1 d. Ges. v. 4. 9. 1967 (BGBl. I S. 960): —

DT 2048365

4

2048365

Dipl.-Ing. Heinz Bardehle
Patentanwalt
D-8 München 26, Postfach 4
Telefon 0811/29 23 55

[11. Okt. 1970

Mein Zeichen: P 1046

Anmelder: HONEYWELL INC.
2701 Fourth Avenue South,
Minneapolis, Minnesota, U. S. A.

Verfahren und Vorrichtung zur Erzeugung von Prüfkodese-
gmenten auf das Auftreten von Quelldaten hin und zur
Ermittlung von Fehlern in den Quelldaten

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur kodierten Darstellung von Prüfkodesegmenten aus Quelldaten; die Erfindung betrifft insbesondere ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Erzeugung einer Vielzahl von Prüfkodesegmenten auf Quelldaten hin, und zwar derart, daß auf eine Wiederaufindung der Quelldaten nach Eingabe der Prüfkodesegmente hin Fehler ermittelt und in einigen Fällen Fehler korrigiert werden können.

Der grundsätzliche Umfang der Erfindung dürfte am besten aus einer Betrachtung des an sich bekannten Hamming-"Fehler-Detektor- und Korrektur"-Systems verständlich werden (siehe US-Reissue Patent No. 23 601). Demgemäß dürfte ersichtlich sein, daß diese Technik sich auf ein Verfahren und auf eine Vorrichtung zum Addieren von "k" Prüfbits zu der jeweiligen

109818/1713

Kodegruppe bezieht, die aus "m" Informationsbits umfassenden Ursprungsdaten besteht. Die die Prüfbits umfassende Hamming-Kodekonfiguration weist somit "n" Bits auf, wobei $n = m + k$ Bits ist (oder Elemente unter Zugrundelegung der Hamming-Terminologie).

Das erwähnte Hamming-System ist dabei so ausgelegt, daß es innerhalb einer gegebenen Kodegruppe Feststellungen und Korrekturen vorzunehmen erlaubt. Dies bedeutet, daß jeder Kodegruppe die k Bits angehängt werden, um insbesondere festzulegen, welches Bit in der betreffenden Kodegruppe fehlerhaft ist.

Die vorliegende Erfindung bezieht sich demgegenüber hauptsächlich darauf zu bestimmen, welches Datensegment im Fehlerfall einen Fehler aufweist, sowie wo das betreffende Datensegment innerhalb einer Vielfach-Segmentdatenquelle vorhanden ist, anstatt auf die Bestimmung einer Fehlerlage bzw. -position innerhalb eines Datensegments, wenn nur ein einziges Segment per Definition der Datenquelle vorhanden ist.

Demgemäß ist es von Bedeutung, auf die vollständig unterschiedliche Definition der Größen n, m und k bei der Erfindung in Bezug auf das Hamming-System hinzuweisen. Die Größe k betrifft im vorliegenden Fall die maximale Anzahl an Reihen, d.h. Zeilen in einer Matrix oder die letzte Zeile dieser Matrix. Die Größe n gibt die maximale Anzahl an Bits in einem Segment oder das letzte Bit in einem Segment an. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, daß die betreffende Größe n die maximale Anzahl an Spalten oder die letzte Spalte in einer Matrix angibt.

Die anfängliche Festlegung der Erfindung auf die Wiedergabe oder auf das Auslesen von zuvor kodierten Daten mit Prüfsegmenten berücksichtigt, ob es möglich ist zu bestimmen, welches Segment einen Fehler aufweist oder möglicherweise ein Fehlermuster. Diese Bestimmung kann gemäß der Erfindung nicht eindeutig vorgenommen werden, wenn nicht die Größe k kleiner als die Größe n oder gleich dieser Größe n ist. Da bestimmte Fehlermuster wiederholt auftretende Untermuster aufweisen, wird bei der bevorzugten Anwendung der Erfindung festgelegt, daß n eine Primzahl ist.

Der Erfindung liegt die grundsätzliche Aufgabe zu Grunde, ein Matrizen-Kodiervverfahren für Prüfkodes zu schaffen, derart, daß die Lage durch eine Datensegmentposition bzw.-Stelle in der Matrizze möglich ist anstatt durch die Bitposition in dem Segment. Im übrigen soll der Wirkungsgrad der Prüfkodierung für eine mögliche Fehlerfeststellung und -korrektur gesteigert werden. Der Wirkungsgrad wird dabei in Größen der Zahl an Prüfbits gemessen, die in Bezug auf die Anzahl an Datenquellen-Bits erforderlich sind.

Gelöst wird die vorstehend aufgezeigte Aufgabe durch ein Verfahren zur Kodierung von Prüfkodesegmenten auf Quelldaten hin, die in k Datensegmente mit jeweils n Bits aufgeteilt sind, wobei jedes Bit eines Datensegments eine Position besitzt, die in zweifacher Richtung zu irgendeinem anderen Bit desselben Segments in Beziehung steht, und wobei jede Position eine Spaltenposition in einer k - zu- n -Matrix festlegt. Dieses Verfahren ist erfindungsgemäß dadurch gekennzeichnet, daß eine erste Reihe von n Prüfbits als entsprechende Reihe erster Folgen von Exklusiv-Oder-Funktionen längs der Matrixspalten erzeugt wird und daß eine zweite Reihe von n Prüfbits als entsprechende Reihe zweiter Folgen von Exklusiv-Oder-Funktionen längs der Matrix-Diagonalen erzeugt wird,

wobei eine Diagonale als eine Reihe benachbarter Positionen in aufeinanderfolgenden Zeilen der Matrix definiert ist, in der die Richtung benachbarter Positionen für sämtliche Diagonalen konstant ist.

Der Grund dafür, daß das sogenannte zyklische Kodeprüfverfahren entwickelt worden ist, liegt in der unwirksamen Ausnutzung der Prüfbits bei dem ursprünglichen Hamming-Verfahren. In diesem Zusammenhang sei auf den Artikel "Cycling Codes for Error Detection" in der Zeitschrift Proceedings of the IRE, Januar 1961, von W.W.Petersen und D.T.Brown hingewiesen.

Im Zusammenhang mit der in dem obengenannten Artikel gegebenen Definition für den Begriff "zyklischen Kode" sei bemerkt, daß das betreffende Verfahren eine Erweiterung des Hamming-Verfahrens darstellt, und zwar dahingehend, daß ein wirksames Kodierverfahren möglich ist. Der betreffende Artikel betrifft somit ebenfalls die Fehlerfeststellung und die mögliche Fehlerkorrektur innerhalb eines einzigen Datensegments. Im besonderen ist das mit dem "zyklischen Kode" arbeitende Verfahren so ausgelegt, daß ein Kode erzeugt wird, bezüglich dessen die Hoffnung besteht, daß er für das betreffende Datensegment eindeutig ist. Sodann wird der betreffende Kode an das in Frage kommende Segment in der Weise angehängt, wie es von Hamming bereits vorgesehen worden ist.

Es ist demgemäß von Bedeutung darauf hinzuweisen, daß die bisher bekannten Kodierverfahren sich jeweils auf ein einzelnes Datensegment bezogen haben, wobei die Aufgabe des jeweiligen Verfahrens darin besteht, einen Fehler innerhalb eines Segments festzustellen und ggfs. zu korrigieren.

Eine eingehendere Untersuchung der bisher bekannten Fehlerprüfverfahren findet sich in dem Buch "Digital Computer Design".

Fundamentals" von Yaohan Chu, McGraw-Hill, 1962, insbesondere Abschnitt 2 bis 8, Seiten 78 bis 88.

Das verknüpfungsmäßige Verfahren der Ausführung bzw. Darstellung einer Paritätsprüfung als Folge oder Reihe von "Exklusiv-Oder"-Funktionen ist in dem vorstehend genannten Buch erläutert. Diese allgemeine Darstellung wird hier benutzt und für die vorliegende Zwecke vollständig definiert.

Das Unterscheidungsmerkmal der vorliegenden Erfindung besteht in der Ausnutzung einer Folge bzw. Reihe von Diagonalen einer Matrix, um zumindest ein zusätzliches Prüfkodesegment zu erhalten. Nachdem die Quelldaten einmal als eine n - zu- k -Matrix gemäß der Erfindung ausgelegt und die Prüfkodesegmente kodiert worden sind, ist ein neues Fehlerermittlungs- und Fehlerkorrekturverfahren möglich gemacht.

Wenn zuvor durch Prüfung kodierte Daten in erfindungsgemäßer Weise zu lesen sind, wird das grundsätzliche Kodierverfahren solange wiederholt, bis bei dem letzten Schritt zumindest zwei Fehlersegmente gebildet werden, von denen das eine Fehlersegment ein Diagonal-Fehlersegment sein muß. Der Ausdruck "Fehlersegment" im hier benutzten Sinne bezieht sich auf einen Kode mit n Bits, die keine binäre "1" umfassen, wenn in der betreffenden Gruppe von Funktionsleitungen, wie einer Reihe von Spalten oder Diagonalen, keine Fehler ermittelt werden. Das Vorhandensein bzw. Auftreten von Binärzeichen "1" zeigt Fehler auf den betreffenden Leitungen an.

Gemäß der Erfindung werden die Fehlersegmente untersucht um zu bestimmen, ob irgendwelche Kodewörter vorhanden sind, die keine Binärzeichen "0" enthalten. Obwohl die Erfindung mit nur einem Spalten-Fehlerkode und einem der beiden

möglichen Diagonal-Fehlerkodes ausgeführt werden kann, ergibt sich eine bedeutende Zunahme in der Korrektur-Zuverlässigkeit oder "Aussagewahrscheinlichkeit", wenn alle drei Kodes benutzt werden. Bei den weiter unten noch erfolgenden Ausführungen ist das Vorhandensein aller drei Kodes angenommen, und zwar für die Spalten, die linken Diagonalen und die rechten Diagonalen.

Wenn bei dem grundsätzlichen Verfahren zwei oder drei Fehlerkodes jeweils Binärzeichen "0" enthalten, werden die betreffenden Daten als "in Ordnung" befindlich bezeichnet. In diesem Fall dient der zusätzliche Diagonal-Fehlerkode dazu, eine Majoritätsentscheidung vorzunehmen, die sonst nicht möglich wäre.

Wenn nur einer der drei Fehlerkodes jeweils Binärzeichen "0" enthält, wird durch das nachstehend noch näher beschriebene Verfahren festgelegt, daß die betreffenden Daten als "nicht korrigierbar" bezeichnet werden. Hierdurch ist der Umstand erfaßt, daß ein Fehler zwar ermittelt worden ist, jedoch nicht korrigiert werden kann.

Enthält keiner der Fehlerkodes jeweils Binärzeichen "0", so kommt das neue Segmentstellen-Verfahren gemäß der Erfindung zur Anwendung, obwohl es, wie noch ersichtlich werden wird, Fälle geben kann, in denen der Fehler nicht korrigiert werden kann. An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, daß in dem Fall, daß die Stelle - in Größen der Zeile der Datenmatrix - eindeutig als sämtliche mögliche Fehler enthaltend bestimmt werden kann, sämtliche Fehler korrigiert werden können. Demgemäß dürfte ersichtlich sein, daß es durch die Erfindung möglich ist, bis zu $n - 1$ Fehler in einem einzigen, n Bits umfassenden Datensegment zu korrigieren.

Das Zeilenstellen-Verfahren gemäß der Erfindung arbeitet nach einem neuen Prinzip, gemäß dem dann, wenn alle drei Fehlersegmente oder -muster durch die richtige Kombination von zyklischen Verschiebungen unter Zugrundelegung des Moduls n überlagert werden können, wie dies weiter unten noch näher ersichtlich werden wird, das Fehlermuster innerhalb nur eines Datensegments vorhanden sein muß. Das betreffende Fehlermuster kann dann unter Bezugnahme auf den ursprünglichen Spalten-Fehlerkode korrigiert werden.

Bei der bevorzugten Anwendung der Muster-Überlappung wird der Spalten-Fehlerkode nicht zyklisch wiederholt. Ein Anfangsvergleich wird unter allen drei Fehlerkodes vorgenommen. Wenn eine dreifache Übereinstimmung festgestellt wird, muß das Fehlermuster in der ersten (oder nullten) Reihe bzw. Zeile vorhanden sein. Führt dieser Anfangsvergleich nicht zum Erfolg, so läßt man den linken Diagonal-Fehlerkode zyklisch nach links laufen (Modul n), während der rechte Diagonal-Fehlerkode zyklisch nach rechts weitergeleitet wird. Auch hier wird ein dreifacher Vergleich vorgenommen. Dieser Vergleich und die Schiebeoperation werden solange wiederholt, bis entweder eine dreifache Übereinstimmung erzielt ist oder n Vergleiche ohne Übereinstimmung vorgenommen worden sind. Die Anzahl der Zyklen wird gezählt, und zwar zur Erzielung eines Indexes bezüglich der Zeile, bei der ggfs. eine Übereinstimmung festgestellt worden ist. Tritt keine Übereinstimmung auf, so wird ein "nicht korrigierbares" Signal erzeugt werden.

Durch die jeweils vorgenommene dreifache Fehlerkodeprüfung gemäß der Erfindung ist ein äußerst zuverlässiges Korrekturmuster verfügbar. Das "korrigierbare" Signal bedeutet, daß sämtliche Fehler innerhalb desjenigen Datensegments oder

derjenigen Zeile fallen, die durch den Verschiebe-Zähler-index markiert ist. Darüber hinaus legt der Spalten-Fehler-kode genau fest, welche Änderungen vorgenommen werden müssen, um die vollständige Korrektur sämtlicher Fehler vorzunehmen.

Wird demgemäß für n eine große Primzahl gewählt (der Vorzug einer Primzahl wird verständlich werden, nachdem die Fehlermuster betrachtet worden sind), wie 67, und ist eine 67- zu-67-Matrix vorgesehen, so sind insgesamt drei mal 67 Prüfbits gemäß der Erfindung möglich, um bis zu 66 Bits in einem Daten-segment zu korrigieren.

Aus Vorstehendem dürfte ersichtlich sein, daß die Erfindung besonders vorteilhaft bei Anwendung von großen Band- oder Scheiben-Datenmengen ist, bei denen ein Datensegment aus einer vollständigen Aufzeichnung von ggfs. mehreren hundert Bits bestehen kann und bei denen die Prüfsegmente so ausgelegt sind, daß sie den Fehler innerhalb einer einzigen Aufzeichnung zu bestimmen gestatten.

Ist das in einem vorher festgelegten Datensegment vorhandene Fehlermuster in erfindungsgemäßer Weise bestimmt, so könnte eine zyklische Kodeprüfung des Hamming-Typs angewandt werden, wenn Paritätsbits oder dgl. bereits in den Quelldaten enthalten sind. Obwohl diese Kombination von Prüfungen hier angedeutet ist, um auf die unterschiedlichen Funktionen zwischen den bisher bekannten Anordnungen und der Erfindung hinzuweisen, kann es wünschenswert sein, die vorliegende Erfindung unter Heranziehung des Spalten-Fehlerkodes als Korrekturmuster anzuwenden, anstatt die Hamming-Prüfungen bzw. zyklischen Kodeprüfungen individuell auszuführen.

An Hand von Zeichnungen wird die Erfindung nachstehend an einigen Ausführungsbeispielen näher erläutert.

- Fig. 1 zeigt das grundsätzliche n - zu- k -Matrixformat, von dem die Erfindung Gebrauch macht, sowie die generelle Art und Weise, in der drei Prüfsegmente organisiert sind. Fig. 2 veranschaulicht ein spezielles Beispiel der Matrix nach Fig. 1 mit $n = 4$ und $k = 3$. Fig. 3 zeigt eine Matrix, in die gerade Binärzeichen eingeführt werden, sowie die Art und Weise, in der die tatsächlichen Werte für die Prüfdatensegmente bestimmt werden. Fig. 4 zeigt in einem Blockdiagramm eine Form einer Vorrichtung, die zur Erzeugung von Prüfdatensegmenten verwendet werden kann. Fig. 5a, 5b und 5c zeigen drei typische Datenformate bzw. -strukturen, die als n - zu- k -Quell-Matrizen gemäß der Erfindung auslegbar sind. Fig. 6 veranschaulicht in einem Flußdiagramm ein Verfahren zur Kodierung oder zum Schreiben der Prüfdatensegmente. Fig. 7 veranschaulicht in einem Flußdiagramm ein Verfahren zur Fehlerermittlung und/oder Fehlerkorrektur gemäß der Erfindung. Fig. 8a bis 8e veranschaulichen verschiedene Fehlermuster zum Zwecke der Erläuterung der Grundlage, daß n vorzugsweise eine Primzahl ist.

Im folgenden sei Fig. 1 näher betrachtet, in der Quelldaten als in einer k - zu- n -Matrix enthaltend dargestellt sind. Jede Bitposition in der Matrix ist durch ein Zeilen- und ein Spalten-Bezugssymbol festgelegt. Beginnt man von der unteren linken Ecke, so ergibt sich, daß die Bitposition B11 die erste Zeile und die erste Spalte der Matrix bezeichnet. Läuft man längs der Zeile, so gelangte man zu der zweiten Bitposition B12. Der generelle Ausdruck für sämtliche Bits in der ersten Zeile ist $B1m$, worin m zwischen 1 und n liegen kann. Der letzte Ausdruck in der ersten Zeile ist demgemäß mit $B1n$ bezeichnet. Im Zusammenhang mit Fig. 2 wird weiter unten ein spezieller Fall der in Fig. 1 dargestellten Matrix betrachtet werden.

Der Buchstabe j wird dabei dazu benutzt, irgendeine der k Zeilen zu bezeichnen. Demgemäß stellen die Reihen Bj1...Bjn irgendeine Zeile der Matrix dar. Die letzte Zeile der Quelldaten-Matrix gemäß Fig. 1 ist mit Bk1 ... Bkm...Bkn bezeichnet, da k im Rahmen der vorliegenden Anmeldung die Anzahl der Zeilen und außerdem die letzte Zeile in der Matrix bezeichnet.

Obwohl in Fig. 1 drei Prüfkodereihen für die Prüfkodedaten-segmente dargestellt sind, kann die Erfindung auch mit zwei Prüfkodereihen ausgeführt werden. Eine der beiden Prüfkodereihen muß dabei eine Diagonal-Prüfkodereihe sein. Die Herleitung der Spalten-Kodereihen ist einfacher und wird zunächst betrachtet werden. Jedes Prüfbit in der Spaltengruppe wird generell mit Cm bezeichnet; es wird gemäß folgender allgemeiner Gleichung hergeleitet:

$$C_m = \sum_{j=1}^{j=k} B_{jm} \oplus B_{jm}.$$

Diese generelle Gleichung kann am besten an Hand eines speziellen Beispiels erläutert werden. Zu diesem Zweck sei eine 3x3-Matrix und eine spezielle Wertegruppe angenommen, wie sie nachstehend aufgeführt ist.

3x3-Matrix und zugehörige Werte

B11	B12	B13	1	0	1
B21	B22	B23	0	1	1
B31	B32	B33	0	1	0

Verknüpfungsmäßig lassen sich die drei Spalten-Prüfbits für das obige Beispiel wie folgt definieren:

$$\begin{aligned} C_1 &= B_{11} \oplus B_{21} \oplus B_{31} \\ C_2 &= B_{12} \oplus B_{22} \oplus B_{32} \\ C_3 &= B_{13} \oplus B_{23} \oplus B_{33} \end{aligned}$$

Das jeweils mit einem Kreis umrandete Pluszeichensymbol soll eine "Exklusiv-Oder-Funktion" bedeuten. Betrachtet man nun die Definition von C1 für die erste Spalte, so ergibt sich, daß das Bit B11 entsprechend der Exklusiv-Oder-Funktion mit B21 zusammengefaßt wird. Das Ergebnis dieser Operation wird dann entsprechend der Exklusiv-Oder-Funktion mit B31 zusammengefaßt. Jede Exklusiv-Oder-Funktion wird gemäß der folgenden Grundbedingung ausgeführt:

$$A \oplus B = A \cdot B' + A' \cdot B$$

Die obige Funktion ist wie folgt zu deuten. Die Exklusiv-Oder-Funktion der Signale A und B ist erfüllt bzw. führt zur Abgabe eines Binärzeichens "1", wenn entweder das Signal A vorhanden und das Signal B nicht vorhanden ist, was durch den Ausdruck $A \cdot B'$ dargestellt ist, oder wenn das Signal A nicht da ist und das Signal B da ist, was durch den Ausdruck $A' \cdot B$ dargestellt ist. Das Apostroph (') bezeichnet dabei den Zustand, daß eine bestimmte Boolesche Variable nicht vorhanden ist. Demgemäß kann die erste Exklusiv-Oder-Funktion für C1 wie folgt angegeben werden:

$$B11 \oplus B21 = B11 \cdot B21' + B11' \cdot B21$$

Im folgenden sei das oben erwähnte Beispiel mit der 3x3-Matrix näher betrachtet. Dabei zeigt sich, daß $D11 = 1$ und $B21 = 0$ ist, so daß die Exklusiv-Oder-Verknüpfung dieser Signale zum Binärzeichen "1" führt. Der Verknüpfungswert der ersten Exklusiv-Oder-Verknüpfung muß dann im vorliegenden Beispiel mit $B31 = 0$ verknüpft werden. Diese gesamte Exklusiv-Oder-Verknüpfung kann wie folgt angegeben werden:
 $(B11 \oplus B21) \oplus B31 = (B11 \oplus B21) \cdot B31' + (B11 \oplus B21)' \cdot B31$
 Im Falle des gewählten Beispiels mit den eingeführten Binärwerten führt die erste Exklusiv-Oder-Verknüpfung zu dem Binärzeichen "1", so daß dann der Endwert von C1 bestimmt werden kann, indem die zweite Exklusiv-Oder-Funktion zwischen

dem Binärzeichen "1" und $B_{31} = 0$ ausgeführt wird. Aus der obigen Untersuchung dürfte ersichtlich sein, daß das Endergebnis und demgemäß der Wert von C_1 ein Binärzeichen "1" ist. Es ist demgemäß bei einem typischen Beispiel ein Prüfbit des Spalten-Prüfsegments bestimmt worden. In entsprechender Weise dürfte ersichtlich sein, daß das Prüfbit C_2 ein Binärzeichen "0" ist und daß das Prüfbit C_3 ebenfalls ein Binärzeichen "0" ist.

Es kann dabei in Betracht gezogen werden, daß das Spalten-Prüfbit effektiv ein Paritätsbit längs einer Spalte ist, da gemäß obiger Definition dann, wenn nur ein einziges Binärzeichen "1" in einer Spalte vorhanden ist, das Prüfbit ein Binärzeichen "1" ist. Sind demgegenüber zwei Prüfbits in einer Spalte vorhanden, so ist das Prüfbit ein Binärzeichen "0". Diese Untersuchung kann selbstverständlich weitergeführt werden, um den generellen Fall zu erfassen, gemäß dem Binärzeichen "1" in ungerader Anzahl in einer Spalte zu einem durch ein Binärzeichen "1" gebildeten Prüfbit führen, während eine gerade Anzahl an Binärzeichen "1" in einer Spalte zu einem durch ein Binärzeichen "0" gebildeten Prüfbit führt.

Um einen kurzen Ausdruck für die verschiedenen Prüfbits anzugeben, wird ein Summenausdruck entwickelt. Dabei wird das Zeichen

\oplus

als Folge von Exklusiv-Oder-Additionen eingeführt. Es werden dann die ganzzahligen Variablen addiert, die die Zeilenposition der Binärzeichen festlegen, um die generelle Spalten-Prüfbitdefinition

$$C_m = \sum_{j=1}^{j=k} \oplus B_{jm}$$

zu erhalten.

Der nächste generelle Ausdruck ist die allgemeine Definition der Diagonal-Prüfbits. Zu diesem Zweck sei kurz der Fall der linken Diagonale betrachtet, die hier generell mit DL_m bezeichnet ist. Auch in diesem Fall wird auf eine 3×3 -Matrix Bezug genommen, wie sie oben bereits betrachtet worden ist. Die Definitionen für DL_1 , DL_2 und DL_3 sind folgende:

$$\begin{aligned} DL_1 &= B_{11} \oplus B_{23} \oplus B_{32}; \\ DL_2 &= B_{12} \oplus B_{21} \oplus B_{33} \text{ und} \\ DL_3 &= B_{13} \oplus B_{22} \oplus B_{31}. \end{aligned}$$

Es dürfte ersichtlich sein, daß im Falle der Definitionen für DL_1 und DL_2 eine wirksame "Rückwärts"-Bindung der Binärzeichen vorhanden ist. Im Falle von DL_1 wird die erste Exklusiv-Oder-Verknüpfung zwischen B_{11} und B_{23} vorgenommen. Das Ergebnis dieser Exklusiv-Oder-Verknüpfung wird mit B_{32} entsprechend einer Exklusiv-Oder-Funktion verknüpft. Die Folge der Spalten bei dieser Operation ist: 1, 3, 2. Die Rückwärts-Bindung in diesem Fall ist die Bindung von B_{11} über die Matrix an B_{23} . Diese Bindung, die eine Rückwärtsverschiebung ermöglicht, kann, wie weiter unten noch näher ersichtlich werden wird, in Werten der Modulzahlen n definiert werden.

Die generelle Regel für die Anwendung einer Zahl in der Moduldarstellungsweise besteht darin, daß dann, wenn die Summe oder Differenz der Modulzahlen die Grenzen von 1 bis n überschreitet, das Ergebnis durch Addition oder Subtraktion von n korrigiert wird, und zwar bei Werten, die unterhalb und oberhalb der betreffenden Grenzen liegen. Diese Verhältnisse werden durch die folgenden Beispiele veranschaulicht:

$$(3 + 2)_3 = (5)_3 = 2; (3 - 5)_3 = (-2)_3; (1 - 1)_3 = (0)_3 = 3.$$

Im ersten Fall wird die Grenze $n = 3$ um 2 überschritten, so daß $n = 3$ von 5 subtrahiert wird. Auf diese Weise wird eine neue Modul-3-Zahl gebildet, die hier 2 ist. Beim nächsten Beispiel ist das Zwischenergebnis $(-2)3$. Dieses Ergebnis wird dadurch korrigiert, daß 3 derart hinzuaddiert wird, daß das Ergebnis 1 erzielt wird. Schließlich führt die Differenz $(1 - 1)3$ zu dem Ergebnis 3.

Die gerade durchgeführte Modulrechnung kann auch als eine zyklische Verschiebefunktion betrachtet werden. Wenn $(3 + 2)3$ auszuführen ist, kann dies so betrachtet werden, als würde eine Rückwärtsverschiebung von 2 nach rechts erfolgen: 3, 1, 2. Der Fall $(3 - 5)3$ stellt einen Links-Zyklus dar, der für fünf Verschiebungen in folgender Weise abläuft: 3, 2, 1, 3, 2, 1. Der Fall $(1 - 1)3$ stellt eine einzige Rückwärtsverschiebung nach links dar, die wie folgt abläuft: 1, 3.

Nachdem die grundsätzlichen Exklusiv-Oder-Reihen und ein Verfahren zur Bestimmung von Bitpositionen in einer Matrix in Größen des Moduls n festgelegt worden sind, sei nunmehr der generelle Ausdruck für die Links- und Rechts-Diagonalen angegeben:

$$D_{im} = \sum_{j=1}^{j=k} + B_j(m - j + 1)n.$$

Im folgenden sei Fig. 2 näher betrachtet, in der eine spezielle Art und Weise dargestellt ist, gemäß der die generellen Definitionen für die Diagonalen auf einen speziellen Fall angewandt werden. Es sei bemerkt, daß in Fig. 2 eine Folge von endlosen Reihen oder Kreisen dargestellt ist, um die Modul- n -Eigenschaft jedes Datensegments in Bezug auf seine Ausnutzung gemäß der Erfindung anzuzeigen.

Da bei dem Beispiel gemäß Fig.2: k kleiner ist als n , sind vier Diagonalen vorgesehen, obwohl nur drei Zeilen vorgesehen sind. Daher existiert hier keine von einem Matrixende zu einem anderen Matrixende verlaufende Diagonale, wie dies der Fall ist, wenn $k = n$ ist. Im folgenden sei die allgemeine Gleichung für D_{lm} betrachtet, wie sie oben angegeben ist. Hierbei kann die Folge der linken Diagonalen dadurch festgelegt werden, daß für die Bestimmung jeder Diagonalen von einem Bit der Bits der ersten Zeile ausgegangen wird. Um ein genaues Verfahren zur Definition anzugeben, sei angenommen, daß die erste DL_1 bestimmende Exklusiv-Oder-Reihe mit B_{11} beginnt, daß die zweite, DL_2 festlegende Exklusiv-Oder-Reihe mit B_{12} beginnt, daß die dritte, DL_3 festlegende Exklusiv-Oder-Reihe mit B_{13} beginnt und daß die vierte DL_4 festlegende Exklusiv-Oder-Reihe mit B_{14} beginnt. Es dürfte sicher einzusehen sein, daß die Erfindung auf die Definition dieser Ausgangspunkte nicht beschränkt ist.

Nachstehend sei die allgemeine Gleichung für D_{lm} betrachtet, wie sie oben angegeben worden ist. Dabei werden die erforderlichen Substitutionen vorgenommen, um die linke Diagonalreihe zu erhalten. Ausgehend mit dem Bit B_{11} ist dabei festgelegt, daß der Anfangswert für j gleich "1" ist. Ferner ist der Anfangswert für die Spaltenposition n mit "1" festgelegt. Durch die Summierung wird sodann festgelegt, daß der Wert von j erhöht wird, um den nächsten Wert der Reihe zu bestimmen. Der Wert für m bleibt dabei 1. Unter Zugrundelegung dieser Substitution erhält man $B_2(1 - 2 + 1)_4 = B_{24}$, wobei $j = 2$ ist. Der nächste Ausdruck ergibt sich dadurch, daß man $j = 3$ wählt und $m = 1$ beläßt. Hiernach ist

$$B_3(1 - 3 + 1)_4 = B_{33}.$$

Demgemäß kann die Reihe DL_1 wie folgt definiert werden:

$$DL_1 = B_{11} + B_{24} + B_{33}.$$

In entsprechender Weise können die anderen linken Diagonalreihen definiert werden:

$$DL2 = B12 + B21 + B34$$

$$DL3 = B13 + B22 + B31$$

$$DL4 = B14 + B23 + B32$$

Unter Heranziehung der generellen Definition für die rechten Diagonalreihen lassen sich für den Fall gemäß Fig. 2 die nachstehenden speziellen Definitionen angeben:

$$DR1 = B11 + B22 + B33$$

$$DR2 = B12 + B23 + B34$$

$$DR3 = B13 + B24 + B31$$

$$DR4 = B14 + B21 + B32$$

Nachdem das allgemeine Verfahren zur Kodierung der Prüfdatensegmente gemäß der Erfindung betrachtet worden ist, sei nunmehr auf Fig. 2 Bezug genommen, um ein spezielles Kodierungsmuster zu betrachten. Es sei bemerkt, daß jedes Bit in jedem Prüfdatensegment nach einem manuellen Verfahren an den Stellen bestimmt werden kann, an denen die Diagonalleitungen und Spaltenleitungen die Matrix durchlaufen, und zwar durch Hindurchführen der geeigneten Bits. Ist die Anzahl an Bits, von denen ein Binärzeichen "1" auf einer Leitung auftritt, ungerade, so wird das entsprechende Prüfbit in Form eines Binärzeichens "1" eingeführt; ist die Anzahl hingegen gerade, so wird als Prüfbit ein Binärzeichen "0" eingeführt. Als offensichtliche Alternative zu der obigen Ausführungsform würde die Heranziehung eines Binärzeichens "0" zur Darstellung einer ungeraden Anzahl an Binärzeichen "1" auf einer Leitung und eines Binärzeichens "1" zur Darstellung einer geraden Anzahl an Binärzeichen "1" anzusehen sein. Es sei hier bemerkt, daß jede Definition bzw. Festlegung in den Rahmen der Erfindung fällt.

Bevor eine spezielle Vorrichtung zur Durchführung der vorstehend erläuterten Prüfbitkodierung angegeben wird, sei

zunächst zur Unterstützung die mögliche Ausnutzung der Prüfdatensegmenten nach erfolgter Kodierung betrachtet. Zum Zwecke dieser Erläuterung sei dabei angenommen, daß drei Prüfdatensegmente an die Quelldaten angehängt werden, nachdem die betreffenden Quelldaten in der oben beschriebenen Weise untersucht bzw. analysiert worden sind. Diese neue Datenmenge kann dann als Ursprungs-Matrix zuzüglich drei angehängter Prüfsegmentzeilen behandelt werden. Hierdurch erhält man eine Information darüber, ob irgendwelche Daten-segmente in der Matrix Fehler enthalten. Das Verfahren zur Ausführung dieses Vorgangs ist ziemlich einfach. Wenn die Quelldaten aus dem Datenvorrat herausgelesen werden, nachdem die Prüfsegmenteinführung erfolgt ist, wird ebenfalls eine Prüfsegmentkodierung gemäß dem oben beschriebenen Verfahren vorgenommen.

Der nächste Schritt bei dem Verfahren der Fehlerfeststellung besteht darin, daß die neue Gruppe von Prüfdatensegmenten mit der ursprünglichen Gruppe von Prüfdatensegmenten verglichen wird, die an die Quelldaten-Matrix angehängt worden sind. Dieser Vergleich kann dadurch vorgenommen werden, daß eine Reihe von Exklusiv-Oder-Verknüpfungen ausgeführt wird, und zwar für entsprechende Bitpositionen der alten und neuen Datensegmente. Unter der Annahme, daß eine Lösung mit Exklusiv-Oder-Verknüpfungen angewandt wird, gelangt man im vorliegenden Beispiel zu drei Fehlersegmenten, die als EDLm, ECm bzw. EDRm bezeichnet werden und die den Ursprungs-Prüfkodes von DLm, Cm bzw. DRm und deren entsprechenden neuen Prüfkodes entsprechen.

Typische Fehlermuster werden in angemessener Einzelheit unter Bezugnahme auf Fig. 8 betrachtet werden. In diesem Fall sollen zumindest zwei Fehlerkodemuster Abweichungen zwischen alten und neuen Zeichen aufweisen. Gemäß der Erfindung

können die Fehlerkodemuster, die untersucht werden können, nach einem anderen Verfahren gemäß der Erfindung erzeugt werden, um zu bestimmen, ob derartige Fehler in einem einzigen Datensegment aufgetreten sind. Nachdem das zweite Verfahren gemäß der Erfindung ausgeführt worden ist, kann man zu einem dritten Verfahren übergehen, nach welchem ein kompliziertes Fehlermuster korrigiert werden kann, und zwar dann, wenn mit einem hohen Grad an Sicherheit bestimmt werden kann, daß sämtliche Fehler in einem Datensegment vorhanden sind.

Im folgenden sei an Hand ^{von} Fig. 4 erläutert, wie das grundsätzliche Kodierverfahren gemäß der Erfindung mit einer sehr einfachen Vorrichtung ausgeführt werden kann. Die Operationsweise dieser Vorrichtung wird dabei unter Heranziehung einer Quelldatenstruktur betrachtet, deren Typ in Fig. 5a veranschaulicht ist. Dabei ist angenommen, daß sämtliche Bits der Quelldaten zeitlich nacheinander auftreten, wobei mit B11 begonnen wird und nacheinander das erste Datensegment durchlaufen wird. Auf diese Weise werden schließlich die aufeinanderfolgenden Datensegmente durchlaufen.

Gemäß Fig. 4 ist ein erstes Register R0 vorgesehen, das zur Aufnahme der Quelldaten-Bitfolge und zur aufeinanderfolgenden Verschiebung dieser Datenbits von rechts nach links dient. Diese Verschiebung der Datenbits erfolgt dabei solange, bis sämtliche n Bits eines Datensegments in dem Register enthalten sind.

In Fig. 4 sind drei weitere Register dargestellt, nämlich die Register R1, R2 und R3. Diese Register dienen dazu, die drei oben erwähnten Prüfdatensegmente zu erzeugen. Die betreffenden Register werden dabei zunächst alle auf Null gestellt, um die Prüfbit-Regelung einhalten zu können. Dabei

Führt eine ungerade Anzahl an Binärzeichen "1" zu einem Prüfbit "1", während eine gerade Anzahl an Binärzeichen "1" zu einem Prüfbit "0" führt. Demgemäß wird die betreffende Operation entsprechend den oben erläuterten Exklusiv-Oder-Gleichungen ausgeführt.

Die Bitpositionen in dem Register R0 sind mit B_{j1}...B_{jm}...B_{jn} bezeichnet. Auf diese Weise ist der Zusammenhang der betreffenden Bitpositionen mit den Bits aufeinanderfolgender Daten-segmente angezeigt. Die Bitpositionen der Register R1, R2 und R3 sind entsprechend der letzten Prüfbitdarstellung bezeichnet, die dabei vorkommt.

Ausgehend von der Datenstruktur bzw. von dem Datenformat gemäß Fig. 5a wird die Betriebsweise und Verknüpfung der in Fig. 4 dargestellten Anordnung unter Bezugnahme auf das Flußdiagramm nach Fig. 6 erläutert. Wie bereits ausgeführt, werden die Register zu Beginn der Operation auf Null gestellt. In Fig. 6 ist noch eine weitere Funktion angedeutet; gemäß dieser Funktion wird ein mit CNT bezeichneter Zähler ebenfalls auf Null gestellt.

Bei dem Schritt 6a ist die Funktion als R0 = neues Daten-segment definiert, das das ursprüngliche Segment B₁₁...B_{1m}...B_{1n} oder die erste Reihe bzw. Zeile für die erste Eingabe ist.

In der Verzweigung von dem Eintrittspunkt 6b sind drei Exklusiv-Oder-Funktionen veranschaulicht: $R1 = R1 \oplus R0$; $R2 = R2 \oplus R0$ und $R3 = R3 \oplus R0$. Zu Beginn der Ausführung dieser Funktionen wird einfach R0 als erstes Datensegment in die Register R1, R2 und R3 eingeführt, die zunächst auf Null gestellt sind.

Im Anschluß an die Ausführung dieser Exklusiv-Oder-Funktionen wird das Register R1 veranlaßt, seinen Inhalt um eine Position nach links (Modul-n-Verschiebung) zu verschieben, und das Register R3 wird veranlaßt, seinen Inhalt um eine Position nach rechts zu verschieben. Das der Spalten-Prüfbitfolge entsprechende Register R2 wird hier nicht angesteuert. Die betreffenden Links- und Rechts-Verschiebungen entsprechen den Operationen, die, wie oben erläutert, zur Erzeugung von D_{Lm} und D_{Rm} erforderlich sind.

Nachdem eine Verknüpfungsoperation ausgeführt worden ist, wie dies oben erläutert worden ist, schaltet das System den Zähler weiter, und zwar um $CNT = CNT + 1$, und sodann wird der Inhalt des Registers R0 für die mögliche Auswertung in einen Speicher oder eine Datenauswerteeinrichtung eingeschrieben oder zu dieser sonstwie hin übertragen.

Durch Vornahme einer Prüfung wird festgestellt, ob sämtliche Segmente verknüpfungsmäßig zusammengefaßt sind. Hierzu wird geprüft: $CNT = k$? . Damit gelangt zu dem Punkt 6a zurück, wenn die Antwort "nein" ist. Lautet die Antwort "ja", so gelangt man zu dem Punkt 6c für das Prüfdatensegment. Damit wird die Beendigung der Kodieroperation angezeigt.

Die spezielle Mechanisierung der Bauteile, die für die Ausführungsform nach Fig. 4 erforderlich sind, dürfte aus der obigen Beschreibung ersichtlich sein. Eine erste Folge von Exklusiv-Oder-Gattern wird dabei nach dem Kodierverfahren gemäß der Erfindung gesteuert, um die Längsdiagonalen-Prüfbits DL1...DLn in dem Register R1 zu erzeugen. Eine zweite Folge von Exklusiv-Oder-Gattern wird in der Weise gesteuert, daß durch diese Gatter die Spalten-Prüfbits C1...Cn erzeugt werden, wobei das Register R2 die Zwischenfunktionsbits aufnimmt und nicht verschiebt. Eine dritte Folge von

Exklusiv-Oder-Gattern wird dabei dazu benutzt, die Zwischenfunktionsbits in dem Register R3 zu erzeugen, in welchem das Endergebnis durch die Folge DR1...DRn gebildet ist.

Die spezielle Art der Steuerung von Bauteilen, die für eine automatische Ausführung der in Fig. 6 dargestellten Schritte erforderlich sind, dürfte ebenfalls ersichtlich sein. Eine erste Steuerart entspricht dabei insbesondere den Anfangsschritten, eine zweite Steuerart dient hingegen der Steuerung des Schleifenbeginns bei 6a, und eine dritte Steuerart schließt sich an die Prüfung für die Nichtrückkehr zum Punkt 6a an, und zwar zur Steuerung des Betriebs der Schritte, die an der Stelle 6c beginnen.

Eine bedeutende Abänderung des erfindungsgemäßen Konzepts wird im folgenden unter Bezugnahme auf Fig. 1 betrachtet werden. Dabei ist lediglich zum Zwecke der Klarheit angenommen, daß dann, wenn die Bits jedes Datensegments in der aus Fig. 5a ersichtlichen Weise gelesen werden, ^{sie} zu einer Zeile der Zeilen der in Fig. 1 generell angegebenen Matrix werden. Dabei ist ferner angenommen, daß n Bits in jedem Datensegment vorhanden sind.

Das breite Konzept der Erfindung ist dabei nicht derart beschränkt. Das Datensegment kann vielmehr auch so betrachtet werden, als läge es längs der Spalten der Matrix, wobei dann k Bits in jedem Segment und eine Gesamtzahl von n Segmenten vorhanden wäre.

Für die Klärung bzw. Deutung der oben hergeleiteten allgemeinen Summierungen sind daher folgende Angaben von Bedeutung. In dem Fall, daß ein Datensegment die Spalte und nicht die

Zeile bezeichnet, muß B_{jm} als Bit in der j-ten Spalte und der m-ten Zeile gedeutet werden. Die Einschränkung, dass k kleiner ist als n oder gleich ist n bleibt noch erhalten, da in dem Fall, daß k größer ist als n, eine genaue Lage eines Datensegments, in welchem sämtliche Fehler enthalten sind, nicht bestimmt werden könnte.

Die in Fig. 4 dargestellte Anordnung arbeitet nicht mit dem gerade erfaßten Datensegment-Spaltenkonzept. In diesem Fall werden die Prüfbits der Spalten als gesonderte Paritätsbits in der gleichen Weise erzeugt wie die herkömmlichen Serien-Paritätsbits, was an sich bekannt ist. Obwohl das generelle Verfahren gemäß der Erfindung sich in gleicher Weise auf Zeilen- bzw. Spalten-Datensegmente bezieht, sei hier darauf hingewiesen, daß die Vorrichtungsausführung zur Kodierung der Diagonalen im Falle von Spalten-Segmenten sehr schwierig ist. Obwohl das erfindungsgemäße Verfahren an sich nicht auf irgendeinen Anwendungsfall beschränkt ist, werden bei der bevorzugten Ausführungsform einer nach der Erfindung arbeitenden Vorrichtung durch die Datensegmente die Matrixzeilen festgelegt.

Im folgenden seien die Fig. 5b und 5c näher betrachtet, in denen typische Zeichen- und Wortdatenstrukturen bzw. -formate dargestellt sind, welche die Quelldaten darstellen. Die Zeichenstruktur gemäß Fig. 5b läßt acht Bits je Zeichen und eine Aufzeichnung von insgesamt acht Zeichen erkennen. Bei der tatsächlichen Ausführung der Erfindung können hier jedoch unterschiedliche Bitlängen und höchstwahrscheinlich mehrere Zeichen pro Aufzeichnung vorhanden sein.

Da das Produkt aus acht Bits mal acht Zeichen lediglich 64 Bits insgesamt liefert und da die Erfindung festlegt, daß n vorzugsweise (wie nachstehend noch näher ersichtlich

werden wird) eine Primzahl an Bits sein sollte, ist gemäß Fig. 5b angenommen, daß drei "0"-Bits die angenommene Aufzeichnung ausfüllen.

Durch Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist die Gesamtaufnahme von acht Zeichen und drei "0"-Fullbits als ein Datensegment ^{an} zu sehen, so daß die vollständige Quelldaten-Matrix insgesamt 67 Sätze derartiger Gruppen oder Segmente enthält.

Im Falle der gemäß Fig. 5c angenommenen Struktur enthält jedes Wort 32 Bits, und außerdem sind zwei Wörter vorausgesetzt, die jeweils ein Datensegment enthalten, welchem ebenfalls drei "0"-Bits hinzugefügt sind. Auf diese Weise ist die gewünschte Primzahl $n = 67$ gebildet.

Im folgenden sei Fig. 7 näher betrachtet, in der das Leseprüfverfahren gemäß der Erfindung veranschaulicht ist. Die Schritte 7a und 7b entsprechen dabei den Schritten 6a und 6b gemäß Fig. 6. Auch hier ist zum Zwecke der Erläuterung angenommen, daß die Struktur gemäß Fig. 5a benutzt wird, daß die Datensegmente die Zeilen der Matrix bilden und daß die Bauteile bzw. Baugruppen gemäß Fig. 4 zum automatischen Betrieb der Erfindung benutzt werden können.

Am Ende von k Zyklen der Schritte 7a und 7b enthalten die Register R_1 , R_2 und R_3 drei neue Prüfdatensegmente. Um drei Exklusiv-Oder-Verknüpfungen zwischen den alten und neuen Segmenten D_{Lm} zum Zwecke der Bildung von ED_{Lm} sowie zwischen den alten und neuen Segmenten C_m zum Zwecke der Bildung von EC_m und zwischen den alten und neuen Segmenten D_{Rm} zum Zwecke der Bildung von ED_{Rm} vorzunehmen, wird der Schritt 7c eingeführt. Die betreffenden Fehlersegmente können dabei in die Register R_1 , R_2 und R_3 in genau der gleichen Weise eingeführt werden, wie bei allen übrigen Exklusiv-Oder-Funktionen bzw. -Verknüpfungen.

Bevor die spezielle Operation des Schrittes 7c betrachtet wird, wird es als zweckmäßig angesehen, zunächst die in Fig. 8 aufgeführten Fehlerfälle zu betrachten. Die Untersuchung dieser Fehlerfälle wird ferner Klarheit über den Vorzug der Wahl einer Primzahl für die Größe n geben.

In Fig. 8a ist eine 5-5-Matrix dargestellt, bei der ein Satz von Fehler in ein- und derselben Spalte auftritt. Die Beziehung zwischen den Datenfehlern und den Prüfbits ist dadurch bestimmt, daß ELO...EL4 für die linken Fehlerbits, EC3 für den Spalten-Fehler (sämtliche Fehler sind bei dem betreffenden Beispiel als in der Spalte 3 liegend angenommen) und ERO... ER4 für die rechten Fehlerbits benutzt werden.

Treten mehr als ein Fehler des in Fig. 8 dargestellten Typs auf, so kann unmittelbar bestimmt werden, daß ein Vergleich auf Gleichheit der Bit-Muster zwischen einer der Diagonalen und dem Spalten-Fehlermuster unmöglich wird, und zwar auf Grund der Tatsache, daß jede Diagonale zwei oder mehr, die betreffenden Fehler bildende Binärzeichen "1" umfaßt.

Im Rahmen der folgenden Erläuterung sei ferner angenommen, daß jeweils nur einer der Datenfehler EDO...ED4 auftreten kann, so daß dann eine Datensegmentlage gemäß der Erfindung möglich ist, wie dies noch ersichtlich werden wird.

Ist EDO der vorhandene Fehler, so sind sämtliche drei Fehlersegmente die gleichen. Demgemäß legt das Korrekturverfahren nach der Erfindung fest, daß die erste oder nullte Zeile (lediglich zum Zwecke der Fehlerbezeichnung) den Fehler enthält. Dieser Fehler kann dadurch korrigiert werden, daß eine Änderung gemäß dem Muster in dem Spalten-Fehlerkode vorgenommen wird.

In jedem anderen Fall ist die Größe der Linksverschiebung für das den Linksdiagonalen zugehörige Fehlermuster sowie die Größe der Rechtsverschiebung für das den Rechtsdiagonalen zugehörige Fehlermuster, das für die Herleitung drei identischer Muster erforderlich ist, ebenfalls die eindeutige Bezeichnung der Zeile, in der der Fehler auftritt. Demgemäß muß EL3 rückwärts nach links dreimal verschoben werden, um zu der Spaltenposition von EC3 ausgerichtet zu werden, und ER3 muß drei Positionen nach rechts (in diesem Fall ist keine Rückwärtsverschiebung erforderlich) verschoben werden, um eine entsprechende Ausrichtung zu erzielen. Damit bezeichnet die Anzahl der Verschiebungen in dem Fall, daß nur eine einzige Zeile oder ein einziges Datensegment den Fehler enthält, eindeutig die Stelle, und zwar durch das Datensegment, an der der Fehler auftritt.

Im vorstehenden ist nur ein einziger Fehler in einem Datensegment oder einer Zeile betrachtet worden. Der gleiche Lösungsweg wird im übrigen auf jede Anzahl bis zu $(n - 1)$ Fehlern in einem einzigen Datensegment oder einer einzigen Zeile angewandt. Ein Fehlermuster ist demgemäß unter Zugrundelegung der Verhältnisse nach Fig. 8b in der vierten Zeile einer 7·4-Matrix bezeichnet. Damit bewirken drei Verschiebungen der EDL-Bits nach links und der EDR-Bits nach rechts, daß eine dreifache Übereinstimmung mit sämtlichen Registern bewirkt wird und damit die vierte Zeile der Matrix als diejenige Zeile bezeichnet ist, die eine Korrektur erfordert.

Wenn die Registerlänge einen Faktor, wie 2, besitzt und das Fehlermuster innerhalb eines Datensegments ein wiederholt auftretendes Untermuster aufweist, wie dies in Fig. 8c dargestellt ist, gemäß der $n = 6$ ($3 \cdot 2$) und k gleich 6 ist, ist eine eindeutige Bestimmung des Segments nicht möglich,

in welchem das Fehlermuster auftritt. Die Ursache hierfür liegt darin, daß die dreifache Gleichheit bzw. Übereinstimmung in einer Anzahl auftritt, die der Anzahl eines wiederholt auftretenden Untermusters entspricht, wenn n diese Zahl als Faktor enthält. Demgemäß ist bei der bevorzugten Fehlerkorrektur gemäß der Erfindung festgelegt, daß n eine Primzahl ist. Dadurch können keine Faktoren auftreten, die bezüglich irgendeines Untermusters eine Gleichheit bezüglich der Vergleiche ermöglichen.

Gemäß Fig. 8e enthalten alle drei Fehlerkodes jeweils drei Fehlerbits. Die dreifache Übereinstimmung ist in Fig. 8e als Zyklen 0 bis 4 veranschaulicht. Hierdurch wird das Muster-Prüfverfahren gemäß der Erfindung veranschaulicht, gemäß dem ein hoher Grad an "Sicherheit" eine Signal- oder Entscheidungsbestimmung dahingehend begleitet, daß die jeweiligen Daten korrigierbar sind.

Nachstehend sei wieder auf Fig. 7 Bezug genommen, und zwar insbesondere unter Heranziehung des Schrittes 7c. Der Zweck der Schrittfolgen, die mit dem Schritt 7c beginnen, besteht darin, nach Exklusiv-Oder-Funktionen die alten Prüfsegmente mit den neuen Prüfsegmenten zu verknüpfen. Die alten Prüfsegmente sind dabei nach dem erfindungsgemäßen Kodiervverfahren eingegeben worden, und die neuen Prüfsegmente sind in den Registern R1, R2 und R3 enthalten. Erreicht wird dies dadurch, daß nacheinander D_{1m} in das Register R0 für eine Verknüpfung nach einer Exklusiv-Oder-Funktion mit dem Inhalt des Registers R1 eingelesen wird, das dann C_m in das Register R0 für eine Verknüpfung nach einer Exklusiv-Oder-Funktion mit dem Inhalt des Registers R2 und daß schließlich D_{3m} in das Register R0 für die Verknüpfung nach einer Exklusiv-Oder-Funktion mit dem Inhalt des Registers R3 eingelesen wird. Das Endergebnis am Ende der Folge, die mit dem Schritt 7c begonnen hat, sind

drei Fehlerkodes: EDLm, Ecm und EDRm. Diese Fehlerkodes stehen nunmehr in den Registern R1, R2 bzw. R3.

Die Untersuchung der so erzeugten Fehlerkodes beginnt mit dem Schritt 7d, bei dem zunächst bestimmt wird, ob das Register R1, entsprechend EDm, jeweils Binärzeichen "1" enthält. Sind jeweils nur Binärzeichen "1" vorhanden, so wird eine Zwischenabsteigung zu einem in Fig. 7c mit "nicht korrigierbar" bezeichneten Ausgang hin vorgenommen. Wenn zumindest ein Fehler-Dit durch ein "0"-Bit in EMM gebildet ist, wird die Überprüfung auf eine mögliche Korrektur mit dem ersten Vergleich des Inhalts der Register R1, R2 und R3 fortgesetzt, um zu bestimmen, ob sämtliche Register jeweils Binärzeichen "0" enthalten. Dieser Schritt oder Eingabepunkt ist mit 7e bezeichnet.

Von dem Schritt 7e existieren drei Schrittmöglichkeiten. Wenn nur eines der drei Register jeweils Binärzeichen "0" enthält, wird zu dem mit "nicht korrigierbar" bezeichneten Ausgang hin gegangen, da es ersichtlich ist, daß ein dreifacher Vergleich nicht möglich ist.^{ist} der Inhalt von zwei oder drei Registern jeweils durch Binärzeichen "0" gebildet, so werden die Quelldaten als "in Ordnung" befindlich festgelegt, voraufhin ein entsprechendes Ausgangssignal geliefert wird. Führt keines der Fehlermuster jeweils Binärzeichen "0" so gelangt man zu dem Ausgang bzw. Schritt 7f, gemäß dem die Folge von Dreifach-Vergleichen ausgeführt wird, wie sie oben in verschiedenen Fällen unter Bezugnahme auf Fig. 8 betrachtet worden sind.

Der Schritt 7f umfaßt dabei lediglich die Klarstellung des Zeilenindex mit $j = 0$. Der Dreifach-Vergleich ist im Schritt 7g festgelegt mit $R1 = R2 = R3$?. Lautet die Antwort auf diese Frage jeweils "ja" so gelangt man zu dem mit "korrigierbar" bezeichneten Ausgang. Wenn jedoch die Antwort "nein" lautet,

so wird der Schritt 7h eingeführt, gemäß dem die Größe j vergrößert wird: $j = j + 1$. Sodann wird der nächste Zeilenindex (j) mit dem Grenzwert k verglichen, und zwar entsprechend der Beziehung: $j > k?$.

Wenn der vergrößerte Zeilenindex j den Wert der letzten Zeile k überschreitet, gelangt man zu dem mit "nicht korrigierbar" bezeichneten Ausgang hin, da keine dreifache Übereinstimmung ermittelt worden ist. Wenn der Grenzwert k nicht überschritten worden ist, wird der Inhalt des Registers $R1$ nach links und der Inhalt des Registers $R3$ nach rechts verschoben. Das Verfahren wird dann für die Ausführung eines weiteren Vergleichs zum Schritt 7g zurückgeführt.

Es sei bemerkt, daß der mit "korrigierbar" bezeichnete Ausgang in der Weise dargestellt ist, daß über diesen Ausgang eine Eingabe einer als Schritt 7j bezeichneten Funktion erfolgt, gemäß dem die für die tatsächliche Korrektur erforderliche Information aufgeführt ist.

Hierbei handelt es sich um den Zeilenindex j , der dasjenige Datensegment bezeichnet, in welchem das Fehlermuster auftritt, und um den Inhalt des Registers $R2$, der das Spalten-Fehlermuster EC_m enthält. Die eigentliche Korrektur kann dabei manuell, durch Rechner-Programm oder durch eine spezielle Baugruppe ausgeführt werden, die das entsprechende Datensegment adressiert bzw. ansteuert und die Verknüpfung nach einer Exklusiv-Oder-Funktion zwischen dem ausgewählten Segment und dem Fehlermuster EC_m durchführt.

P a t e n t a n s p r ü c h e

- ① Verfahren zur kodierten Darstellung von Prüfkodesegmenten auf das Auftreten von Quelldaten hin, welche in k Datensegmente mit jeweils n Bits organisiert sind, wobei jedes Bit eines Datensegments eine Position besitzt, die in zwei Richtungen zu jedem anderen Bit des gleichen Datensegments in Beziehung steht, und wobei jede Position eine Spaltenposition in einer $k \cdot n$ -Matrix festlegt, dadurch gekennzeichnet, daß längs der Matrixspalten eine erste Reihe von n Prüfbits als entsprechende Reihe von ersten Folgen von Exklusiv-Oder-Verknüpfungen erzeugt wird, und daß längs der Diagonalen der Matrix eine zweite Reihe von n Prüfbits als entsprechende Reihe von zweiten Folgen von Exklusiv-Oder-Verknüpfungen erzeugt wird, wobei eine Diagonale eine Reihe von benachbarten Positionen in aufeinanderfolgenden Zeilen der Matrix festlegt und die Richtung benachbarter Diagonalen jeweils konstant ist.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Quelldaten durch die Reihen $(B_{11} \dots B_{1m} \dots B_{1n}), \dots (B_{j1} \dots B_{jm} \dots B_{jn}), \dots (B_{k1} \dots B_{km} \dots B_{kn})$ dargestellt werden, wobei durch j irgendeine der Zeilenpositionen von 1 bis k und durch m irgendeine der Spaltenposition von 1 bis n darstellbar ist, und daß die erste Reihe von Prüfbits durch die Beziehung

$$C_m = \sum_{j=1}^{j=k} \oplus B_{jm} \quad \text{festgelegt wird.}$$

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die zweite Reihe von Prüfbits durch die Beziehung

$$D_{lm} = \sum_{j=1}^{j=k} \oplus B_{j(m-j+1)n}$$

festgelegt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die zweite Reihe von Prüfbits durch die Beziehung

$$DR_m = \sum_{j=1}^{j=k} \oplus B_j(m + j - 1)n \text{ festgelegt wird.}$$

5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zur Vermeidung der Möglichkeit des Auftretens von mehrdeutigen Prüfkodes für n eine Primzahl benutzt wird.

6. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß zwei Formen von zweiten Reihen von Prüfbits entsprechend den Beziehungen

$$DL_m = \sum_{j=1}^{j=k} \oplus B_j(m - j + 1)n \quad \text{und}$$

$$DR_m = \sum_{j=1}^{j=k} \oplus B_j(m + j - 1)n \text{ erzeugt werden.}$$

7. Verfahren zur Ermittlung von Fehlern in Quelldaten, mit zumindest zwei Prüfdatensegmenten, deren jedes n Bits umfaßt, wobei das eine Prüfdatensegment bezogen auf die Quelldaten durch eine Reihe von Folgen von Exklusiv-Oder-Verknüpfungen längs von Diagonalen einer Matrix gebildet wird, wobei eine Diagonale als eine Reihe von benachbarten Positionen in aufeinanderfolgenden Zeilen der Matrix festgelegt ist und wobei die Richtung sämtlicher benachbarter Diagonalen konstant ist, insbesondere unter Anwendung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß eine Reihe von neuen, den genannten Prüfdatensegmenten entsprechenden

Prüfdatensegmenten erzeugt wird, daß die Exklusiv-Oder-Verknüpfung des einen Prüfdatensegments mit einem neuen Prüfdatensegment derjenigen neuen Prüfdatensegmente durchgeführt wird, die längs der Diagonalen der Matrix ausgebildet werden, und daß die Exklusiv-Oder-Verknüpfung des anderen Prüfdatensegments mit dem anderen neuen Prüfdatensegment ausgeführt wird, derart, daß zwei Fehlersegmente gebildet werden, in denen durch das Vorhandensein von "L"-Bits Fehler angezeigt werden.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß Schritte zur Korrektur und Feststellung von Fehlern ausgeführt werden, daß die Quelldaten ein Links-Diagonal-Prüfsegment, ein Rechts-Diagonal-Prüfsegment und ein Spalten-Prüfsegment umfassen, daß drei Fehlerkode-Erzeugungsschritte durch Ausführung einer Exklusiv-Oder-Verknüpfung zwischen neuen und ursprünglichen beiden Links-Diagonal-Prüfsegmente, zwischen neuen und ursprünglichen Rechts-Diagonal-Prüfsegmenten und zwischen neuen und ursprünglichen Spalten-Prüfsegmenten zur Darstellung eines Links-Fehlersegments, eines Rechts-Fehlersegments und eines Spalten-Fehlersegments gebildet werden, daß diese Fehlersegmente mit ihren zyklisch aufeinanderfolgend nach links bzw. rechts verschobenen Werten verglichen werden, bis eine dreifache Übereinstimmung auftritt oder k Vergleiche ohne eine dreifache Übereinstimmung durchgeführt sind, und daß ferner die Anzahl von Vergleichen vor der dreifachen Übereinstimmung zur Abgabe eines Zeilenindex gezählt wird.

9. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß mit den Quelldaten drei alte Prüfdatensegmente D_{Lm} , C_m und D_{Rm} verwendet werden und daß drei neue Prüfdatensegmente N_{DLm} , N_{Cm} und N_{DRm} entsprechend den genannten alten Prüfdatensegmenten erzeugt werden, wobei folgende Exklusiv-Oder-Verknüpfungen ausgeführt werden:

$$\begin{aligned} ED_{Lm} &= D_{Lm} \oplus N_{DLm}; \quad EC_m = C_m \oplus N_{Cm} \text{ und} \\ EDR_m &= D_{Rm} \oplus N_{DRm}. \end{aligned}$$

10. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß erste Einrichtungen zur Erzeugung einer Reihe von n Prüfbits entsprechend der Exklusiv-Oder-Funktion

$$C_m = \sum_{j=1}^{j=k} \oplus B_{jm} \quad \text{vorgesehen sind}$$

und daß zweite Einrichtungen zur Erzeugung einer Reihe von n Prüfbits entsprechend der Exklusiv-Oder-Funktion

$$D_{LRm} = \sum_{j=1}^{j=k} \oplus B_{j(m+j+1)n} \quad \text{vorgesehen sind.}$$

11. Vorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die zweite Einrichtungen zwei nach einer Exklusiv-Oder-Funktion wirkende Summenbildner enthält, deren erster zur Erzeugung der Reihe von Prüfbits entsprechend der Beziehung

$$D_{Lm} = \sum_{j=1}^{j=k} \oplus B_{j(m-j+1)_n} \quad \text{dient}$$

und deren zweiter zur Erzeugung der Reihe von Prüfbits

entsprechend der Beziehung

$$DR_m = \sum_{j=1}^{j=k} \oplus B_j(m+j-1)_n \quad \text{dient.}$$

12. Vorrichtung, bei der Quelldaten k Datensegmente mit jeweils n Bits enthalten und zusammen mit Prüfsegmenten DLM , CM und DR_m in Speichern gespeichert sind, wobei eine Einrichtung zur Ermittlung und Korrektur von Fehlern vorgesehen ist, insbesondere nach Anspruch 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, daß erste Einrichtungen zur Erzeugung neuer Prüfsegmente NDL_m , NC_m und MDR_m vorgesehen sind, daß zweite Einrichtungen zur Erzeugung von Fehlersegmenten EDL_m , EC_m und EDR_m entsprechend der Exklusiv-Oder-Verknüpfung von DLM und NDL_m , CM und NC_m sowie DR_m und MDR_m vorgesehen sind, daß dritte Einrichtungen zum Vergleich der Segmente EDL_m , EC_m und EDR_m vorgesehen sind, daß vierte Einrichtungen zur zyklischen Linksverschiebung des Fehlersegments EDL_m und zur zyklischen Rechtsverschiebung EDR_m vorgesehen sind und daß fünfte Einrichtungen zur Zählung der Anzahl von Vergleichsvorgängen vorgesehen sind, die durch die dritten Einrichtungen durchgeführt werden, wobei die dritten Einrichtungen derart betätigt sind, daß der Vergleich der Fehlersegmente nach jedem Zyklus wiederholt wird, bis eine dreifache Übereinstimmung auftritt oder k Vergleiche durchgeführt sind.
13. Vorrichtung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß die zweiten Einrichtungen drei Register (R_1, R_2, R_3) zur Erzeugung der Fehlersegmente EDL_m , EC_m und EDR_m enthalten.
14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß n eine Primzahl ist.

2
4.1

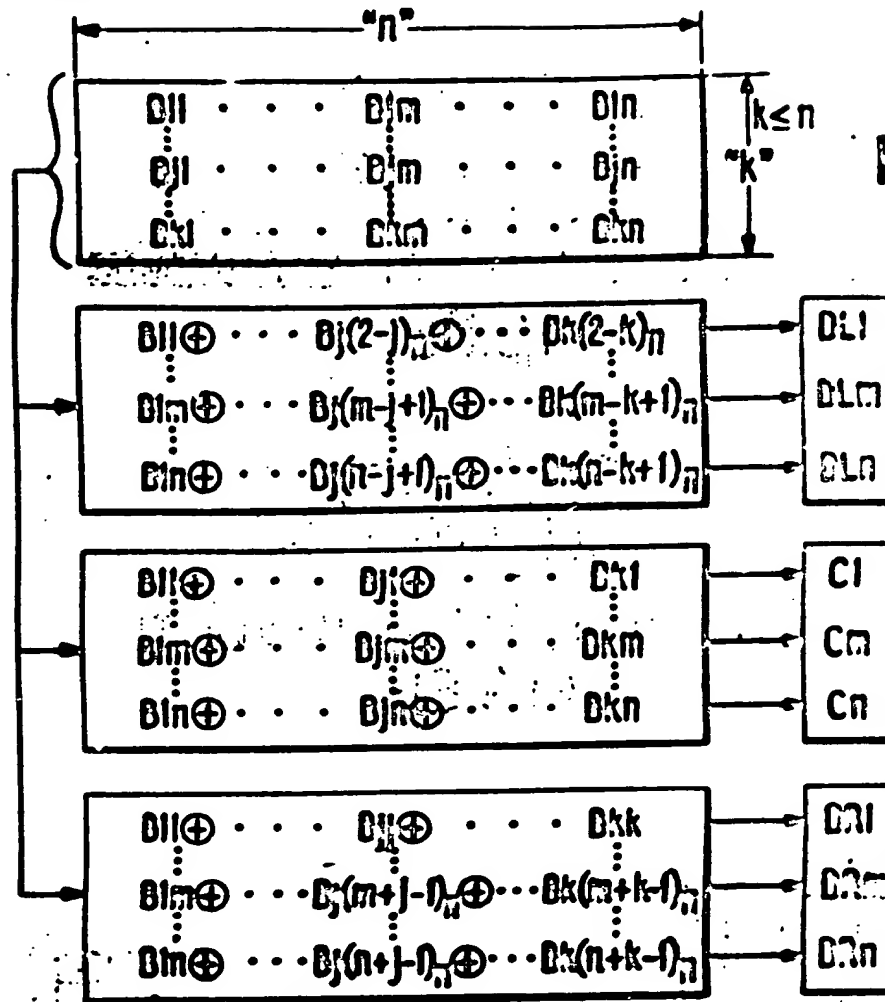


FIG. 1

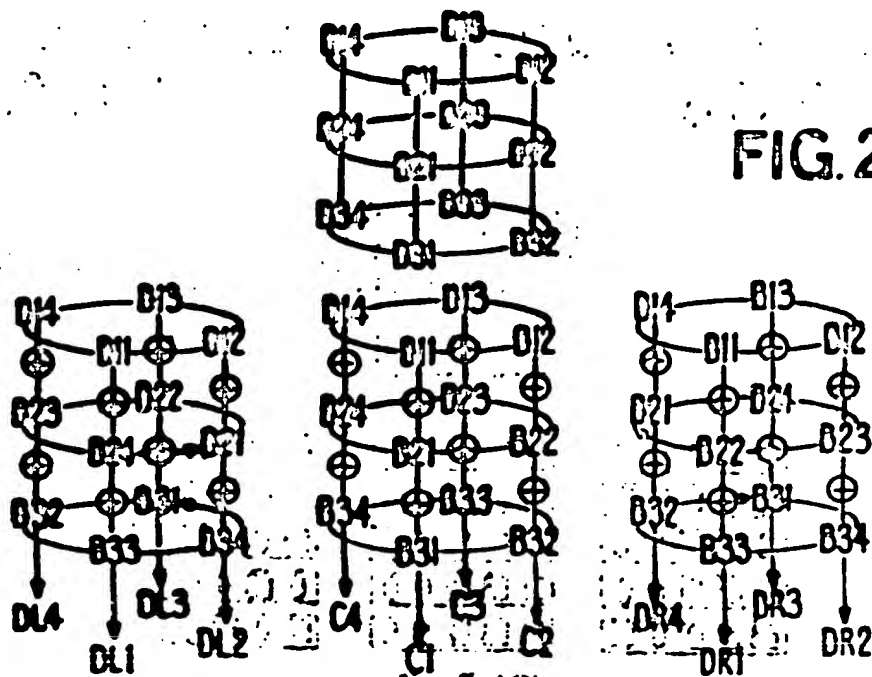


FIG. 2

42

. 35 .

2048365

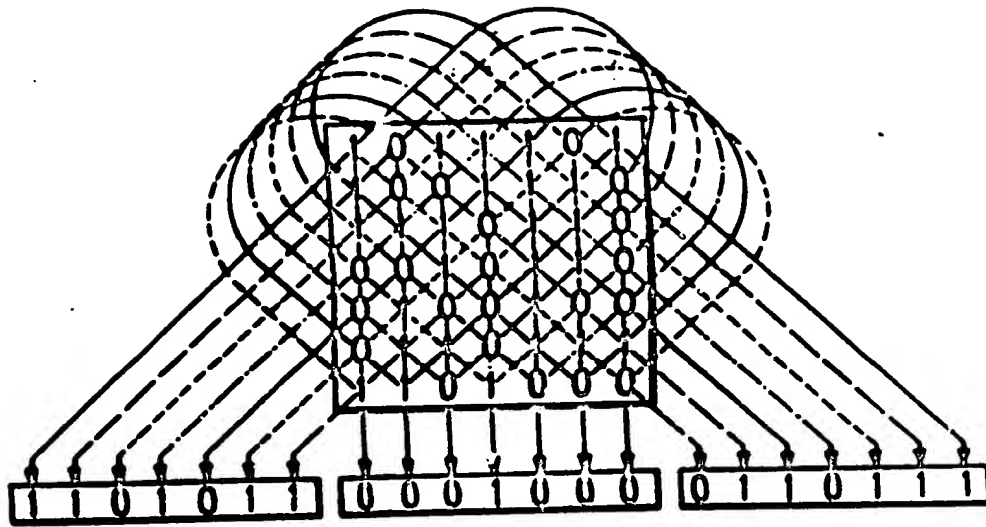


FIG. 3

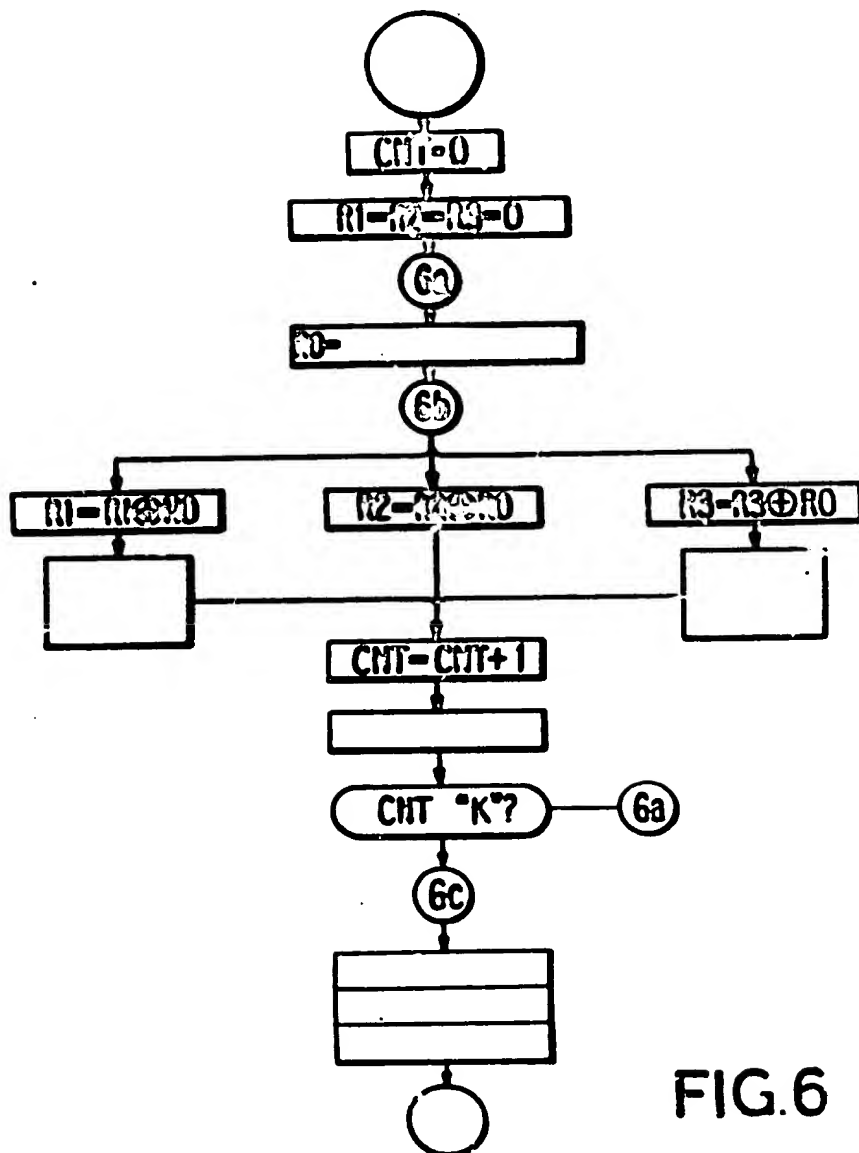


FIG. 6

109819/1713

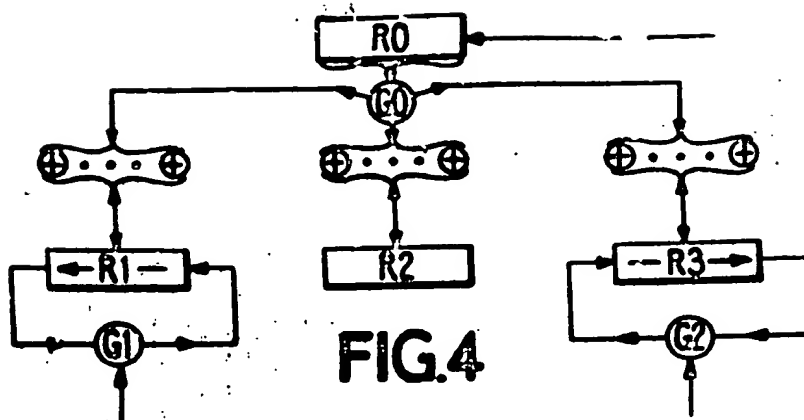


FIG. 4

- I - t
 $B_1 B_2 \dots B_n B_1 B_2 \dots B_2 \dots B_k B_k \dots B_k$

FIG. 5a

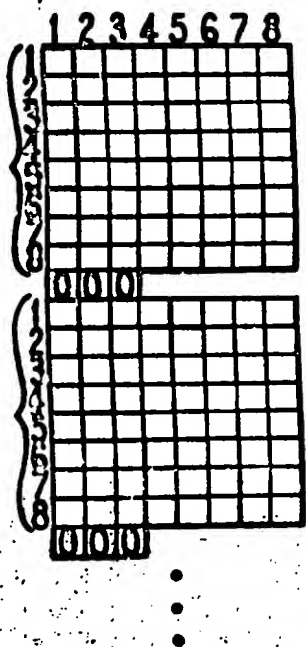


FIG. 5b

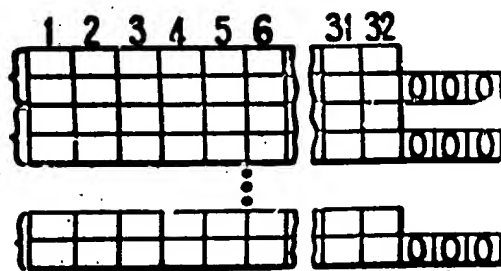
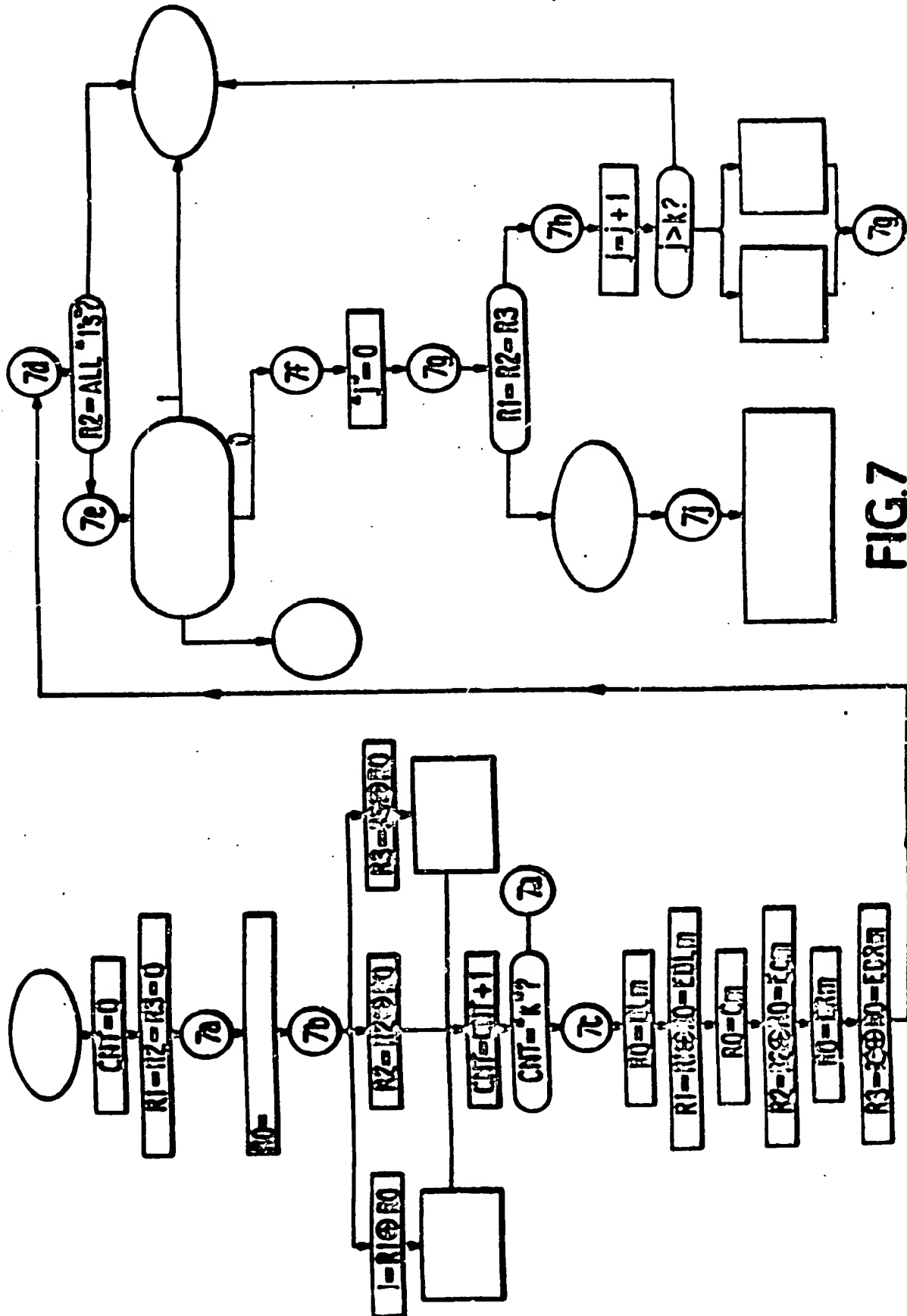


FIG. 5c



45

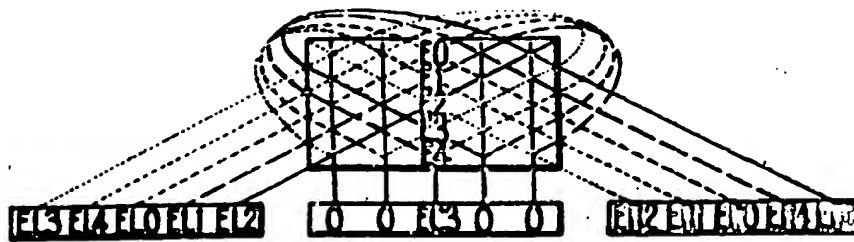


FIG. 8a

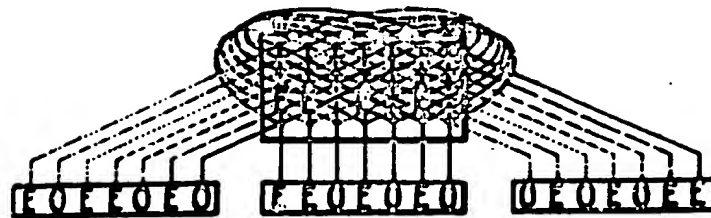


FIG. 8b

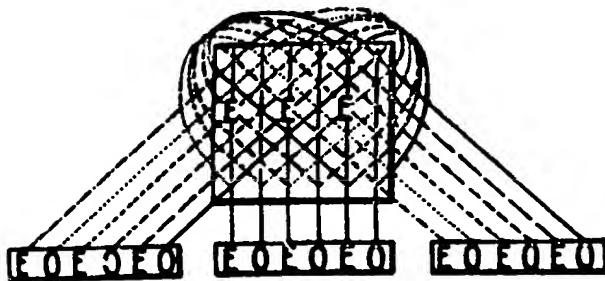


FIG. 8c

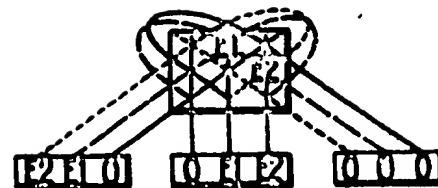


FIG. 8d

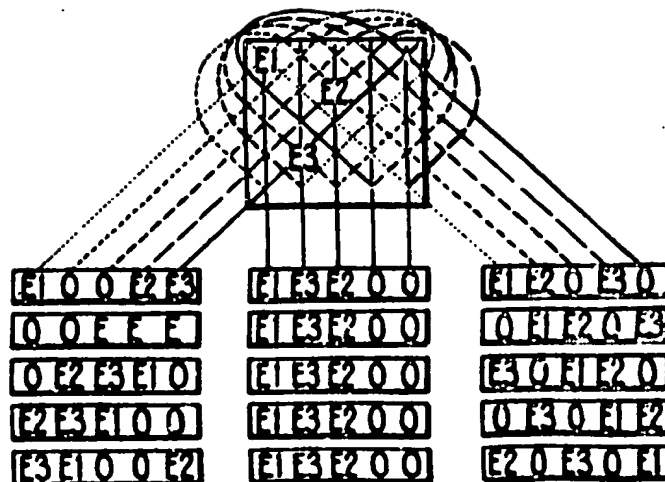


FIG. 8e